

V-2 「ボンドによらない複合PC部材の力学的特性に関する研究」の報告(46年度吉田研究奨励金受賞)

○宮本征夫 *

鳥居豊孝 **

1. まえがき

一般にポストテンション方式のPC部材はシーツの中に鋼材を通し、硬化後シーツにグラウトを行なって一体化されている。しかし本研究に於てはシーツを用いず、鋼材にアスファルト塗布やエポキシ塗布の表面処理をしないままコンクリート中に埋込み緊張し、そのことを試みたもので、シーツに鋼材をどう入する手間やグラウトをどうする手間が省ける。今後は特に断面及び表面状態を種々変えて試験体の静的曲げ試験を行うと共に理論計算との対比を主として調べた。

2. 試験体の分類

断面による分類としては表-1に示すようにB~Dの3種類に分類した。又表面状態の違いによる分類は

1. シーツなしアスファルト塗布 C-1, 2 D-1, 2

B-1, 2

2 シーツありグラウトあり B-3, 4, C-3, 4, D-3, 4

3 シーツありグラウトなし B-5, 6, C-5, 6, D-5, 6

4 エポキシ樹脂塗布 B-7, 8, C-7, 8, D-7, 8

表-1 断面による分類

	Bシリーズ	Cシリーズ	Dシリーズ
断面形状	縦×横(mm) 380 × 200	210 × 362	170 × 447
断面諸定数	断面種(cm ²) 760	760	760
	重心位置(上縁部) (cm) 12.85	10.72	8.41
	重心から手回りの断面2次モーメント(cm ⁴) 93677	22366	18571
設計重量	上 鉄筋(kg/cm ²) 121.1	121.6	125.5
作用時におけるたわみ	下 鉄(kg/cm ²) 5.2	3.9	4.6

3. 設計

試験体の設計は土木学会「プレストレストコンクリート設計施工指針」および「鉄筋設置建設局新幹線建設局編「建造物設計標準(プレストレストコンクリート鉄道橋)」」に従った。表-2に設計条件を一覧を示す。又図-1にBシリーズの場合の試験体の設計図を示す。

表-2

設計条件の一覧表

項目	内 容
寸法	スパン 4.5m, 全長 5.0m, 長方形断面
支持条件	単純支持形式, 集中荷重2点荷分け形式, 載荷スパン 1.0m
設計荷重	Bシリーズ 7.2t, Cシリーズ 4.0t, Dシリーズ 2.5t
材 料	$f_{ck} = 400 \text{ kg/cm}^2$, $E_c = 350000 \text{ kg/cm}^2$ 許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{cc} = 140 \text{ kg/cm}^2$ 部材圧縮部 部材引張部 $\sigma_{ct} = 180 \text{ kg/cm}^2$ 許容曲げ引張応力度 全死荷重が作用する期 $\sigma_{ct} = -15 \text{ kg/cm}^2$ 設計荷重が作用後 $\sigma_{ct} = -5 \text{ kg/cm}^2$ 設計荷重作用時 $\sigma_{ta} = 9 \text{ kg/cm}^2$ 許容引張強度 破壊安全度検討と $\sigma_{st} = 40 \text{ kg/cm}^2$ 許容値 $\sigma_{st} = 20 \text{ kg/cm}^2$
	許容圧縮強度 $\sigma_{ci} = (0.25 + 0.05 \frac{A}{A'}) \sigma_{ck}$, $\sigma_{ci} \geq 0.5 \sigma_{ck}$
	ヤング係数 $E_p = 2000000 \text{ kg/cm}^2$
	引張強度 $f_{pu} = 11000 \text{ kg/cm}^2$
	降伏強度 $f_{py} = 9500 \text{ kg/cm}^2$
	有効断面積 Bシリーズ 789 mm ² , CおよびDシリーズ 2×405=810 mm ²
	プレストレス導入中 8600 kg/cm ²
	プレストレス導入直後 7700 kg/cm ²
	設計荷重作用時 6600 kg/cm ²

図-1 トイ 試験体の寸法 (Bシリーズ)

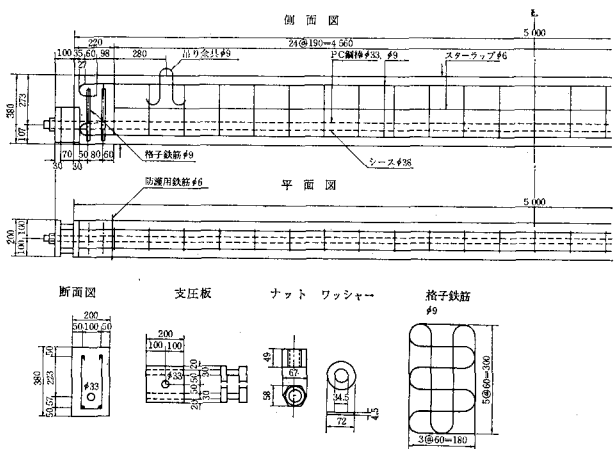


表-3 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント, 比量 3.15
細骨材	相模川産, 比量 2.60, 粗粒率 2.86
粗骨材	相模川産, 比量 2.64, 粗粒率 7.09
エポキシ樹脂	硬化剤: エピクロン, HY 90R, エステルレジン, エポキシール 使用方法: 各組成分の所定量を混合し
アスファルト	硬化剤: 分一プロンアスファルト, プロセスオイル, 炭酸カルシウム, カーボン, 天然ゴム, 合成ゴム 使用方法: 上記配合物をガソリンおよび灯油の混合液で1:1の割合で

4. 使用材料及び配合

試験体の材料及びコンクリート配合, グラウト配合は各々表-3, 表-4, 表-5の通りである。又試験体はコンクリート打設後約4時間蒸気養生を行なった後に脱型して取り出した。

表-5 グラウトの配合

セメント (普通) (kg)	水 (kg)	フライアッシュ (kg)	遅効型ポズソラ (g)	アルミニウム粉 (g)
100	36	25	250	8

表-4 コンクリートの配合

セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	単位量 (kg/m ³)		空隙率 (%)
				水/W/C (%)	骨材/C (%)	
25	5~7	43	38	174	405	686
				1152	0	

5. 緊張

プレストレス導入はセンターホールジャッキ2台による両引きにて行ないジャッキの圧力計にて緊張力の測定を行なった。各シリーズの緊張力はBシリーズ5T, 5オ, Cシリーズ6オ, Dシリーズ6オオである。プレストレス導入時に橋の静的特性の把握及び緊張管理のために次の項目の測定を行なった。(1)緊張力の各段階におけるPC鋼棒のひずみ及び橋のスパン中央のコンクリートの側面の変ひ。(2)PC鋼棒の両端部におけるひずみ。(3)橋のとり上がり量。(4)橋の中央部側面における長期ひずみ。(コンタクトゲージで測定)

図-2 プレストレス導入時におけるひずみ測定位置

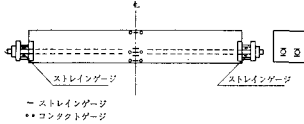


図-3 緊張力とPC鋼棒のひずみとの関係

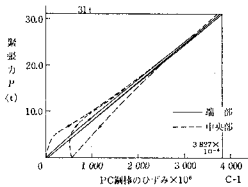


図-4 緊張力とPC鋼棒のひずみとの関係

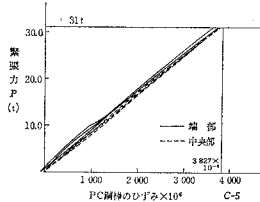


図-5 緊張力とPC鋼棒のひずみとの関係

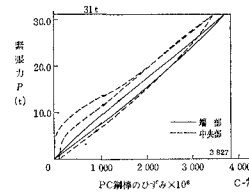


図-3~5にCシリーズにおける緊張力とPC鋼棒のひずみの関係と表面状態の違いによって分類したものを示す。又参考のため緊張力30tにおけるPC鋼材のひずみをヤング係数 $E_s = 2.000,000$ t/cm²として計算した値 (3.827×10^6) を示した。

6. 曲げ破壊試験

各シリーズの橋は支点間隔450cmにて単純支持梁図-6に示すように載荷して静的曲げ破壊試験を行なった。載荷試験については次のような要領を行なった。(オ1回目)設計荷重→0にもどす。(オ2回目)最大ひび割れが折断面の下縁より各層に達すまで→0にもどす。

(オ3回目)橋が破壊すまで。又各載荷試験において次の事項について測定及び観測を行なった。

- ①橋のたわみ、②PC鋼棒のひずみ、③コンクリート表面のひずみ、④ひび割れの観測。

7. 実験結果

表-6に実験結果の一覧表を示す。

(折りのたわみ) 図-7にBシリーズのアスファルト塗布の場合の荷重とスパン中央点でのたわみの関係を示す。又図-8にC-1の橋についてのたわみ分布を示した。

(PC鋼棒のひずみ) 図-15, 16に荷重とPC鋼棒端部のひずみとの関係を示す。

図-15 荷重とPC鋼棒両端部のひずみとの関係 (Cシリーズ)

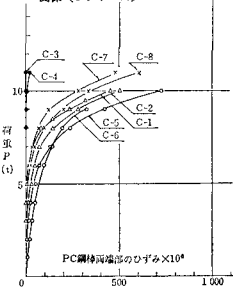


図-16 荷重とPC鋼棒両端部のひずみとの関係 (Bシリーズ)

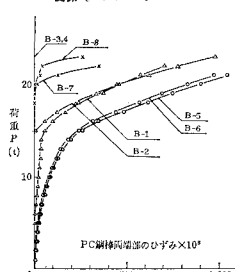


図-8 橋のたわみ分布 (B-1)

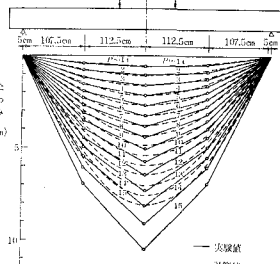


図-6

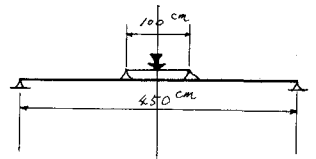
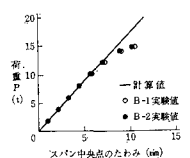


表-6 実験結果の一覧表

試験体番号	PC鋼棒の表面状態	破壊荷重 (t)	ひび割れ荷重 (t)	破壊変位 (t-m)	ひび割れ変位 (t-m)
B-1	アスファルト塗布	29.05	9.0	20.64	8.35
B-2	*	23.50	8.0	21.04	7.48
B-3	シースありグラウトあり	25.25	10.6	22.57	9.75
B-4	*	25.00	10.1	22.35	9.31
B-5	シースありグラウトなし	23.30	9.0	20.86	8.35
B-6	*	21.95	8.0	19.68	7.48
B-7	エポキシ樹脂塗布	23.65	9.2	21.17	8.53
B-8	*	23.90	9.0	21.39	8.35
C-1	アスファルト塗布	13.20	5.9	12.03	5.64
C-2	*	12.65	5.6	11.54	5.38
C-3	シースありグラウトあり	14.80	5.1	13.43	4.94
C-4	*	12.75	5.4	11.63	5.20
C-5	シースありグラウトなし	10.40	4.2	9.58	4.15
C-6	*	11.80	4.7	10.80	4.59
C-7	エポキシ樹脂塗布	12.50	4.0	11.41	3.98
C-8	*	12.50	3.6	11.41	3.63
D-1	アスファルト塗布	8.95	3.5	8.31	3.54
D-2	*	7.82	3.5	7.32	3.54
D-3	シースありグラウトあり	8.95	2.5	8.31	2.66
D-4	*	9.25	3.4	8.57	3.45
D-5	シースありグラウトなし	8.28	3.0	7.72	3.10
D-6	*	8.50	2.5	7.91	2.66
D-7	エポキシ樹脂塗布	8.98	3.7	8.53	3.72
D-8	*	9.82	3.4	9.07	3.45

* 自重による曲げモーメント (0.475 t-m) を加えてある。

図-7 荷重とスパン中央点のたわみとの関係



(コンクリートのひずみ) 図-17に桁のスパン中央断面のコンクリートの側面下縁位置の荷重-ひずみ曲線の代表的な例を示す。図-17において左側はストレインゲージに近接した位置にひび割れを生じた場合で右側はストレインゲージがひび割れを生じた場合である。

(ひび割れ挙動) 図-18, 19に桁のひび割れ状態を示す図を示す。

図-17 スパン中央断面側面下縁における荷重-ひずみ曲線

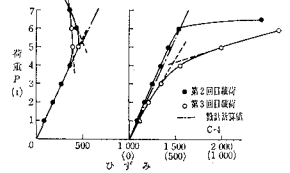


図-18 桁のひびわれ図 (D-3)

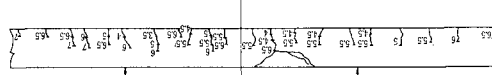
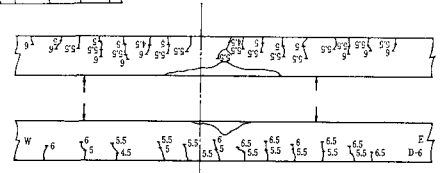


図-19 桁のひびわれ図 (D-6)



8. 破壊曲げモーメントの考察

実験による破壊荷重の値が

付着の有無により大きく変わっていないことを考慮して土木学会のプレストレストコンクリート設計施工指針に示された方法で付着ありの桁の破壊曲げモーメントを計算すると表-7のとおりである。ここに桁の破壊時のコンクリートの歪み及びコンクリートの強度は供試体の破壊試験時に実測した値の平均を用いた。

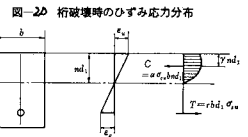
表-7 破壊荷重および破壊曲げモーメント計算値

	破壊荷重 (t)	破壊曲げモーメント (t-m)
Bシラーズ	21.8	19.55
Cシラーズ	12.06	11.02
Dシラーズ	8.40	7.36

表-6, 7を比較すると明らかのように実験値は計算値に近い値を示している。参考文献(1)の方法に従って破壊曲げモーメントとPC鋼棒中央部の

ひずみとの関係を調べると、先ずはりの断面寸法および桁の破壊時のひずみ分布を図-20のように仮定する。

またコンクリートが鋼材よりも先に破壊するものと仮定する。ここで δ_{cu} はコンクリートの破壊応力、 δ_{su} は桁破壊時のPC鋼材の応力、 r は鋼材断面積とコンクリート断面積との比を表わす。この時桁の破壊曲げモーメント M



$$M = r b d_1 \delta_{su} (d_1 - r n d_1) \dots \dots (1)$$

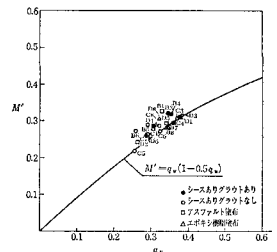
$$M = f_u (1 - \beta f_u) \dots \dots (2) \quad \text{ここで } \frac{M}{b d_1^2 \delta_{cu}} = M', \quad \frac{r \delta_{su}}{\delta_{cu}} = \beta, \quad \frac{r}{d_1} = \beta \dots \dots (3)$$

図-20の応力分布を長方形であると仮定

$$\text{すると } \alpha = 1, \quad r = \frac{1}{2}, \quad \text{よって } \beta = 0.5 \text{ と仮定。式(2)へ } \beta = 0.5 \text{ を代入して得られる } M' = f_u (1 - 0.5 f_u) \dots \dots (4)$$

と本実験で測定したPC鋼棒中央部のひずみが計算した f_u および実験値 M をプロットすると図-21のとおりである。これによると若干のばらつきはあるが、式(4)はかなりよい近似を与えることができる。PC鋼棒に作用する応力を仮定することによりアポンドPC桁の破壊曲げモーメントを近似的に計算することができよう。

図-21 M' と ϵ_u の関係



9. あとがき

実験結果を簡状がまに示すと、1) PC鋼棒の表面状態の違いは桁の破壊曲げモーメントに若干影響する。土木学会のプレストレストコンクリート設計施工指針の方法による計算法で求めた破壊曲げモーメント M とするとシ-スありグラウトなしの桁はグラウト有りの桁より9~21%の強度低下を示しアスファルト塗布の桁は7~9%、エポキシ樹脂塗布の桁は0~10%の強度低下である。2) 桁のひびわれ荷重にはPC鋼棒の表面状態の違いによる差はない。3) 桁のたわみひび割れを生じるまでは実験値は弾性計算値とよくあつてまがひび割れ荷重を越えたとたわみも急増する。4) PC鋼棒測定値は端部ではグラウトなしの桁が大きく中央部ではどの桁も大きな差はない。最後に以上の実験、研究の指導をしていただいた鉄道技術研究所橋口構造物研究室長天公建設局所長藤澤課長、に深く謝意を表します。

〔参考文献〕
 1) *Concrete Magazine of Concrete Research*, Vol. 21, March 1969, p. 23.
 2) 文献(1) H. M. Parnell: "The Ultimate Moment of Resistance of Unbonded Prestress concrete"
 ※ 国鉄技術研究所構造物研究室主任研究員 ※ 国鉄仙台新幹線工務局南郡山工区区長